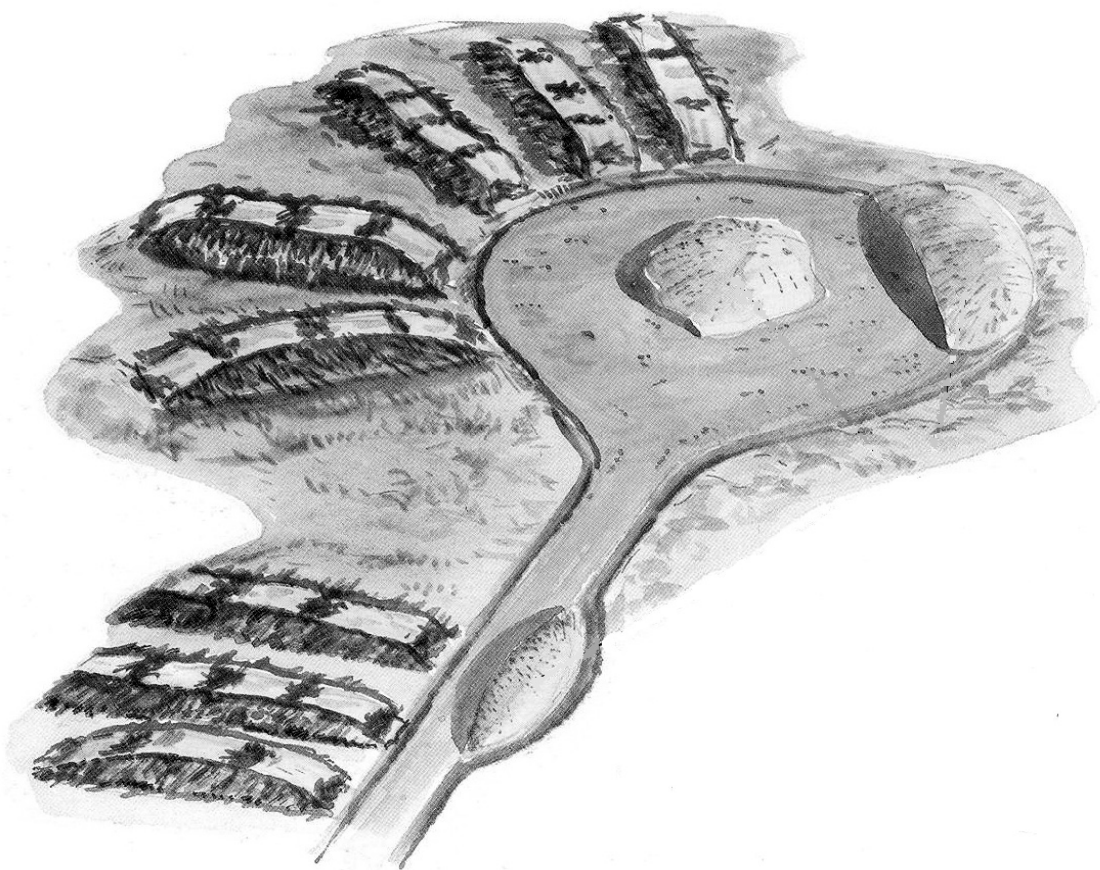




Systemanalys av skogsbränsletransporter

System analyses of wood fuel transports

Gabriel Engblom



:
Arbetsrapport 175 2007
Examensarbete 20 p D

Handledare:
Iwan Wästerlund

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Institutionen för skoglig resurshushållning
S-901 83 UMEÅ
Tfn: 018-671000



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG--AR—175-SE

Systemanalys av skogsbränsletransporter
System analyses of wood fuel transports

Gabriel Engblom

Förord

Detta arbete har utförts som ett examensarbete omfattande 20 poäng i ämnet skogshushållning. Arbetet har ingått i mål 1-projektet ”Samverkan kring regionens outnyttjade skogsresurser” som drivits av Energidalen under åren 2004-2006.

Under arbetets gång har jag fått ovärderlig hjälp av skogsteknologi avdelningen vid SLU i Umeå. De har varit till stor hjälp genom att tillgodose mig med material som varit viktiga i mitt examensarbete, de har även funnits där för mig när jag har behövt synpunkter på mitt arbete.

Jag vill speciellt ge ett stort tack till min handledare Iwan Wästerlund, som var den person som ursprungligen presenterade mig för examensarbete. Han har funnits där under arbetets gång som en hjälpare och stödjande hand genom att finnas där när jag behövde vägledning.

Jag vill även rikta ett stort tack till Magnus Näslund på Energidalen och Magnus Pettersson på SLU som har varit till stor hjälp genom det material de har givit mig under arbetets gång.

Under arbetets gång har jag varit i kontakt med flertalet företag som har givit mig god insikt i försörjningsleden inom biobränslebranschen.

SCA norrbränslen
Jämtkraft
SåtAB
Energidalen
GreenCargo

Tack till:

Iwan Wästerlund, SLU.
Magnus Pettersson, SLU.
Magnus Näslund, Energidalen.
Pär Winberg, GreenCargo.
Bertil Gyll, GreenCargo.
Jerry Söderström, Vårby.
Tomas Jonsson, Jämtkraft.
Anders Lindberg, SÅTAB.
Dag Fjeld, SLU.

Gabriel Engblom
Umeå, januari 2007

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Summary	5
1 INLEDNING	6
1.1 Bakgrund	6
1.1.1 Systembeskrivning	10
1.2 Mål	12
2 MATERIAL OCH METODER	13
2.1 Allmänt	13
2.1.1 Enheter	13
2.2 Fältstudien	13
2.2.1 Allmänt	13
2.2.2 Lastning- och lossningsstudie på buntar	13
2.3 Systemanalys	14
2.3.1 Kostnader och prestationer	14
3 RESULTAT	20
3.1 Rak jämförelse	20
3.2 Lagring & fukthaltsförändring	22
3.3 Jämförelse lastbil – tågtransport	24
3.4 Känslighetsanalyser	26
4 DISKUSSION	27
4.1 Allmänt	27
4.2 Terminal	30
4.3 Framtiden	30
Referenser	32
Bilaga 1	34
Bilaga 2	35

Sammanfattning

Under 70- och 80-talet anlades och användes 18st så kallade träddelsterminaler runt om i landet. De flesta lades dock ner innan 2000-talet men med dagens rådande olje- och energipriser kan terminalerna kanske bli aktuella igen. Målet med studien var att jämföra ekonomin i 5 logistiska system för långa transporter av grot där 2 av systemen har en terminal med tillgång till tågtransport. Ett system baserades på lösgrot med lastbil till en mottagare t.ex. ett värmeverk, ett innehöll flisning vid avlägg och ett system baserades på buntning. I samtliga fall var levererad slutprodukt flis till kunden. För samtliga fall beskrevs varje större länk med ekvationer uttryckta i kr/råton och kr/MWh.

Vid transportavstånd över ca 130 km är en terminal och tåg det billigaste alternativet för att få fram råvara till industrin. Fukthaltsförändringar och substansförluster har en stor inverkan på den totala kostnaden i ett bränslesystem och är hittills förbisett. Vid en jämförelse utan substansförluster och fukthaltsförändring inblandad skiljer sig kostnaden för bunt- och flissystemet ytterst lite. Kostnaden för transport via järnväg ökar ytterst lite vid längre avstånd, men kostnaden är initialt hög. Vid transport med lastbil är den initiala kostnaden liten men ökar snabbt med avståndet. Vid utvecklingsarbete för effektivitetshöjande åtgärder bör grotskotning, flisning vid avlägg alt. terminal och tågtransport av buntar vara prioriterade.

Nyckelord: Grot, flisning, buntning, skotare, lastbil, tåg.

Summary

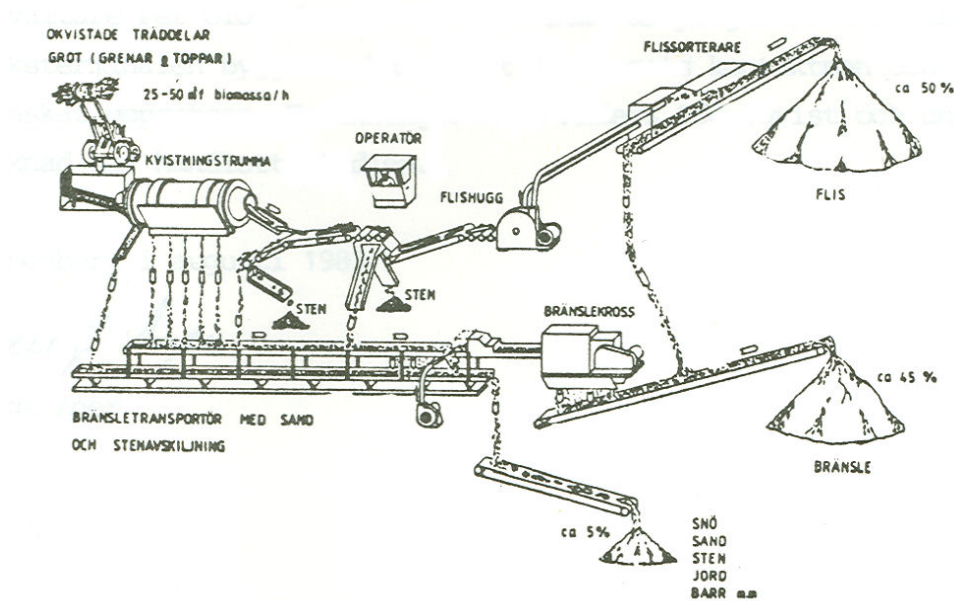
At the end of 70s and the beginning of 80s, 18 terminals was built and used for chipping wood residue from clear cuttings. Most of the terminals was terminated before the 2000s but with the high oil- and energy prices that we can see today there might be a place for these terminals again. The goal with the study was to analyze and compare economical differences between 5 different logistical systems, collected data was used with a set of formulas. The systems include long range transport of slash, chips and bundles. Three of the systems include transport by lorry to industry the last two includes a terminal with access to train transport. At the terminal bundles will be unloaded from a lorry to a train or slash will be chipped directly on to a train and thereafter be transported to industry. The end product at the industry in all cases is chips and all the systems are being presented in SEK/ton and SEK/MWh.

A terminal with access to train transport is the cheapest alternative when transporting slash over a distance of 130 km. Changes in moisture content and loss in substance due to storing of slash, bundles or chips have a great impact on the total economy in a biofuel system. The cost for bundling- and chip system doesn't deviate much when changes in moisture content and loss of substance is absent in the calculations. The cost of transporting chips or bundles by train is initially high but the cost doesn't increase much after that. When transporting by truck the cost is initially low but then it increases rapidly depending on the distance. Forwarding of slash, chipping at roadside or at a terminal and train transport with bundles should be taken in consideration when trying to heighten the efficiency in a biofuel system.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Under 70- och 80-talet anlades och användes 18st så kallade GROT-terminaler runt om i landet. De byggdes under en period där oljepriserna hade stigit skyhögt och där staten satsade på olika åtgärder för att stimulera investeringar och sysselsättning (Hillring, 1995). Det fanns även ett drivande intresse i att bli mindre beroende av olja som det enda drivmedlet och man hoppades på att kunna lyckas med detta genom inhemska energikällor. Ett system som växte fram under 1970-talet var upparbetning av träddelar (Hillring, 1995). Terminalerna som byggdes var konstruerade för att klara av träddelar och kunde oftast se ut som på figur 1.



Figur 1. Terminalhantering (Eliasson & Svensson, 1983).

Figure 1. Wood fuel terminal and its components.

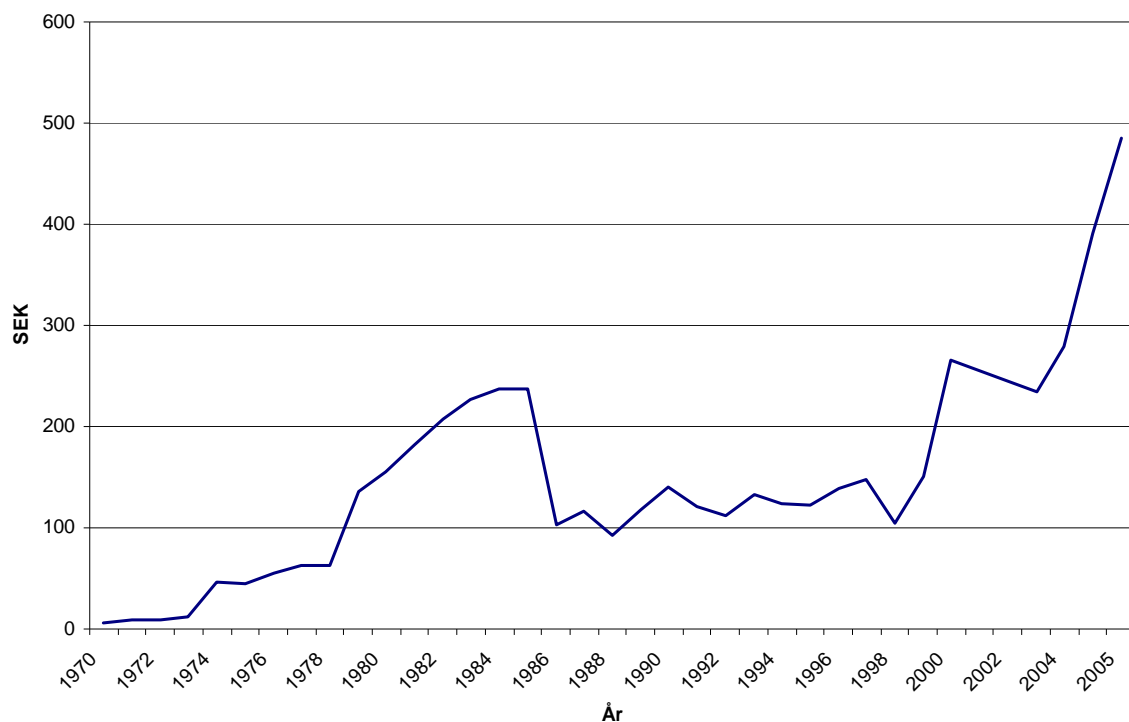
Träddelarna transporterades in i en kvistnings- och barkningstrumma med hjälp av ett transportband. De grövre bitarna som kom ut gick genom ett sorteringssystem där ”föroreningar” som t.ex. stenar föll bort. Därefter flisades råvaran i en flishugg för att sedan än en gång gå igenom en sorteringsanordning. Avskav från trumman t.ex. bark m.m. gick över en linje som gick från trumman till en bränslekross, även föroreningar följde med så som t.ex. mindre stenar och sand. Stenarna och sanden sorterades bort innan resten av materialet gick igenom bränslekrossen.

Redan när de sista terminalerna byggdes hade läget på marknaden för skogsbränsle blivit svagare (Hillring, 1995). Med en mindre drivkraft för att använda skogsbränsle minskade även behovet av användandet av terminaler. Detta ledde till att många av terminalerna togs ur bruk en bit in på 90-talet p.g.a. dålig lönsamhet och även det faktum att engreppsskördarna blev lönsamma i 1:a gallring spelade en viss roll i nedläggandet.

Idag, en bit in på 2000-talet, har vi ett liknande världsmarknadsläge vad det gäller priset på olja, d.v.s. väldigt högt pris på råolja, samtidigt som biobränsleanvändningen ökar för varje år.

Dyrare transporter samt ett ökande behov av råvara kanske kan öka intresset för användandet av terminaler igen. Idag bör en terminal anpassas till flera olika tillämpningar för att inte riskera att bli en statisk enhet som bara kan göra en sak. Några exempel på vad en terminal skulle kunna användas till: kortvarig lagringsplats innan vidaretransport, förfördelning av grott till flis, blanda t.ex. flis och bark så att en jämn fukthalt uppnås, lastning o lossning för vidaretransport m.m.. En viktig sak att poängtera vid en nybyggnation är att man måste ta reda på om det finns ett intresse eller ett behov av en terminal, annars riskerar man att få ekonomiska svårigheter då ingen vill betala för den upparbetade varan.

Priset på råolja har under 2005 flera gånger stigit till nya rekordhöjder, se figur 2 (Anon, 2004).



Figur 2. Priset på råolja/fat och år, 1970-2005.

Figure 2. Price on crude oil per barrel and year in SEK, 1970-2005.

Oron för minskade tillgångar av olja samt händelser som orkaner och terrorattacker kan tänkas ligga bakom rekordpriset på oljan. Detta har gjort att bensin- och dieselpriiset ökat kraftigt i Sverige och har lett till dyrare transporter. Prishöjningen gör att många processer inom skogsbruket blir fördyrade, vilket kan hämma den ekonomiska tillväxten hos vissa delar av skogsbruket men kan även ge som följd ökade möjligheter att nyttja råvaran inom bibränslebranschen. Om transporterna blir dyrare så kan det t.ex. bli för dyrt för skogsindustrin p.g.a. att råvaran hämtas ute i skogen med långa transportavstånd, därav en högre kostnad för hanteringen av råvaran som följd. Detta kan leda till att massabruken importerar mer massaved istället för att ta virket ifrån Norrlands inland. Vilket i sin tur kan leda till att bibränslebranschen får ökade möjligheter att ta tillvara på den massaved som bruken anser vara ekonomiskt olönsamt. En annan aspekt är också att bibränslebranschen kan gynnas av högre bränslepriser, p.g.a. den prioriterade omställningen till alternativa bränslen som går fortare på grund av att folk blir mer angelägna att satsa på förnyelsebar

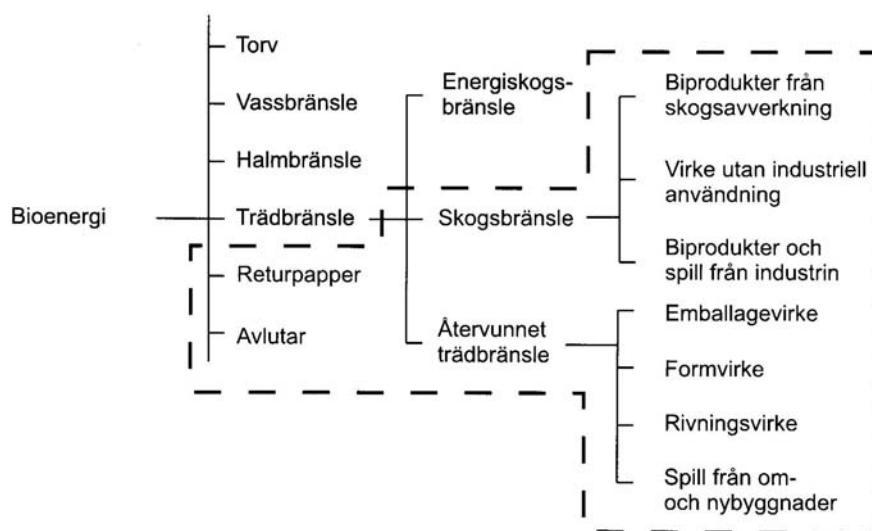
energi. Ett sätt att göra det möjligt att komma åt råvaran på ett billigare sätt kan vara att bygga terminaler på strategiska platser inne i landet. Råvaran kan då transporteras till terminalen för att där kunna flisas ner och sedan transporteras med t.ex. järnväg till industrin. Vid transport av lösgrot utnyttjas endast 50-80% av lastbilens lastkapacitet (Löfgren, 2004). Om groten däremot får bearbetas till flis så kan man utnyttja lastbilens lastkapacitet på ett effektivare sätt. Effekten av detta är att det blir mer ekonomiskt att transportera råvaran längre sträckor och denna aspekt gör att det är intressant att titta mer på möjligheten att anlägga nya terminaler.

Sverige har sedan 1970 till 1997 haft en energitillförsel som gått från 457 TWh till ca 630 TWh per år (Anon, 2004). Under perioden 1970-2003 har sedan biobränsleanvändningen mer än fördubblats från 43 TWh till 103 TWh per år (Anon, 2004) och ingenting visar på att ökningen av biobränslen avstannar. Från början tacklades biobränslebranschen av en låg efterfrågan, låga försäljningspriser samt dålig ekonomi i hanteringen. Idag har ökad efterfrågan och bättre ekonomi gjort att det investeras mer i att framställa ny teknik som ska göra det ännu mer lönsamt att hantera biobränslen (Löfgren, 2004).

Sveriges elproduktion har det senaste året minskat p.g.a. nedläggningen av Barsebäcks reaktorer, vilket har lett till att man satsat mer på alternativa energiprocesser för att täcka energiförlusten. Att bygga ut vattenkraften och anlägga nya vindkraftverk har varit några av de tänkta förslag på hur man ska täcka behovet utan att behöva öka beroendet av importerad el. Detta ger även utrymme för biobränslebranschen att öka sin produktion, p.g.a. en större efterfrågan av deras produkter, men då krävs det även att större mängder av råvaran blir tillgänglig för branschen.

Vad är det då för råvara som används för att det ska få kallas biobränsle?

”Bio” kommer av det grekiska ordet *bi’os*, som betyder liv. Biomassa betyder således ”levande massa” och omfattar levande samt det nyligen avdöda fysikaliska massan hos organismer inom ett visst område. Inom bioenergi begreppet samlas alla energibärare där biomassa är utgångsmaterialet (Nilsson & Lönner, 1999). Vad som anses vara biobränsle beskrivs i figur 3.

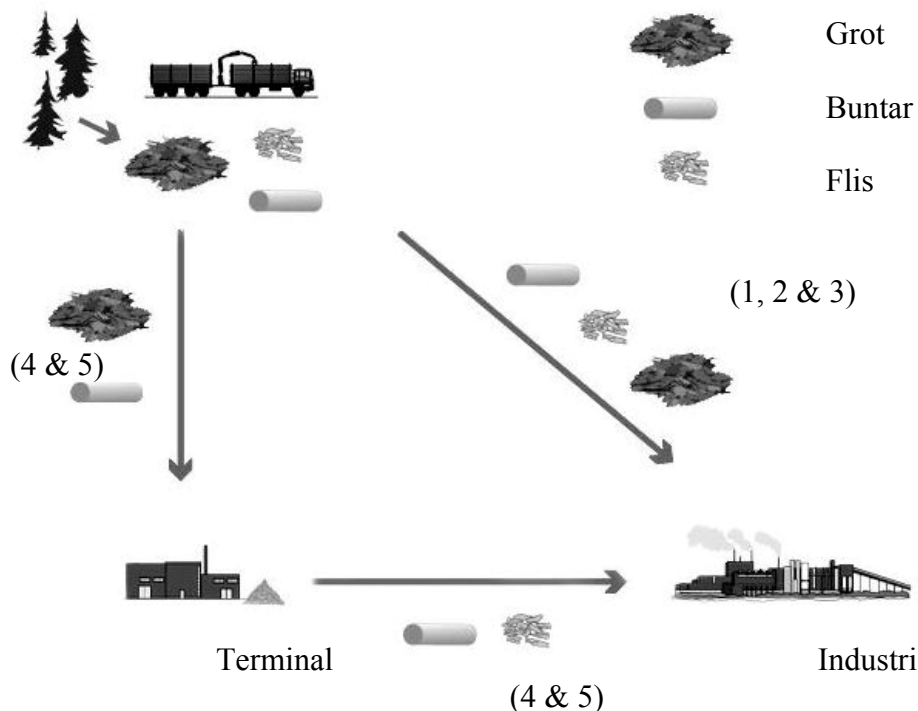


Figur 3. Schema över biobränsleklassning (Nilsson & Lönner, 1999).
 Figure 3. Classification of bioenergy fuels.

Behovet att få tag på mer biobränsle ökar allteftersom bruket av förnyelsebar energi ökar. Sågspån och spill från industrin är redan bundna till olika industrier t.ex. värmeverk, därför ökar behovet att få tag på råvaran ute i skogen. Grot (Grenar och toppar) är vad som oftast används som en direkt råvara från skogen för att fylla upp det ökade behovet, även massaved kan användas. Emellertid ses kanske inte användandet av massaved med blida ögon av massabruken. Innan groten hämtas efter en avverkning läggs groten i högar som får ligga över en säsong för att på så sätt få barren att lossna och lämna kvar lite av näringen. Groten kan sedan flisas på plats eller transporteras direkt, som lösgrot med hjälp av ett specialfordon, till värmeverket (jfr figur 4). I fallet då groten har flisats, transporteras varan av antingen med containerbilar eller av en självlastande flisbil. De ekonomiska fördelarna med att transportera grot obearbetat är att man slipper flyttkostnaden och användarkostnaden av en extra maskin men metoden lämpar sig bäst på kortare avstånd. Fördelen med att flisa groten på plats innan transport är att man får ett sönderdelat material som gör att man kan använda sig av lastkapaciteten hos lastbilen på ett bättre sätt. Metoden lämpar sig bäst där långa transportavstånd är ett måste. Dock finns nya metoder för att göra det mer lönsamt att transportera groten t.ex. att göra buntar av groten, men dessa metoder kräver ett specialfordon som tillverkar buntarna.

Terminaler används idag inom flera olika branscher med flera olika användningsområden t.ex. transportbranschens godsterminaler. Problemet för transportbranschen är att många varor inte har samma destination. Detta löser man dock genom att först samla alla varor på en terminal där man sorterar varorna efter vilken stad/region dom ska levereras till. Alla varor som ska transporteras till samma stad/region lastas sedan i så stor utsträckning som möjligt på samma lastbil eller tågagn. Därefter transporteras varorna till en terminal som ligger inom den stad/region dit varorna ska distribueras. Där sorteras varorna på nytt för att sedan kunna transporteras och levereras till rätt kund. Syftet med att använda en terminal som ett nav inom branschen är att man kan effektivisera transporterna och på det sättet få en bättre ekonomi i transportledet. Även inom en specifik bransch kan en terminal ha flera olika användningsområden t.ex. kan transportbranschen ha bussterminaler där det är personer som är det primära godset. En sådan terminal förenklar transporterna genom att folk kan anlända med buss för att sedan snabbt kunna kliva på nästa buss och åka vidare. Man kan även säga att en bussterminal "lagrar" personer medan de väntar på nästa buss. Utöver transport med människor handhar bussterminalen även en viss grad av godshantering. Således bör det definieras vad terminalen har för syfte och ändamål.

1.1.1 Systembeskrivning



Figur 4. Fem olika alternativ för transport och bearbetning i olika skogsbränsleflöden.

Figure 4. Possible alternatives for transport of wood fuels.

Grotsystemet

Detta system styrs av regionala förutsättningar d.v.s. hur många samhällen med industrier finns det att transportera råvaran till. I de södra delarna av Sverige lämpar sig detta system bäst p.g.a. att en större samhällsfrekvens medför att det finns fler industrier som ligger närmare råvaran. I de nordligare delarna av Sverige används systemet mindre frekvent p.g.a. de längre transportsträckor som råder samt av den anledningen att många av värmeverken varken har ytan eller möjligheten att krossa råvaran själva. Snabbt ökande transportkostnader vid längre körningar gör att denna metod lämpar sig bäst vid körning kortare än 5 mil.

- Uttag av grot från hygget med antingen en vanlig virkesskotare eller en modifierad skotare, grotskotare.
- Kortare eller längre lagring vid vägavlägg med eller utan täckpapp
- Transport av grot med lastbil med täckta sidor
- Transport till industri eller en terminal med möjlighet till flisning och transport med tåg

Fördelar

Få moment i systemet ser till att hålla ner kostnaderna. Inga extra maskiner behöver användas vid uttaget av grot.

Nackdelar

Grot är ett material som är svårt att transportera p.g.a. det är ett skrymligt material. Lämpar sig ej för långa transporter p.g.a. att man många gånger inte får fulla last viktmässigt när man

väl har lastat till kanten. Specialfordon måste användas för att kunna kompaktera materialet vid transporter. Industrin måste ha en plats för att kunna lagra och flisa materialet.

Flissystemet

Flissystemet är idag det dominerande systemet. Ca. 80% av allt grot flisas vid avlägget (Andersson, 2000). Flissystemet används idag för att kunna öka lastvikterna och på så sätt minska transportkostnaderna på längre sträckor.

- Uttag av grot från hygget med antingen en vanlig virkesskotare eller en modifierad skotare, grotskotare.
- Kortare eller längre lagring vid vägavlägg med eller utan täckpapp
- Flisning med flismaskin antingen direkt ner i lastbilens lastutrymme eller ner på en specialanpassad matta
- Transport av flis med lastbil med täckta sidor
- Transport till industri

Fördelarna

Ger ökade lastvikter p.g.a. det blir färre hålrum vid lastningen. Ökade lastvikter gör att man kan transprotera materialer längre sträckor med lägre kostnad som följd.

Nackdelar

Man måste använda sig av en extra maskin för att kunna flisa groten, vilket gör att systemet belastas av en extra kostnad. Man bör ej lagra flis i hög längre tider p.g.a. substansbortfallet och den ökande temperaturen, som är ett resultat på den mikrobiella aktiviteten som sker när flis lagras i hög (Lehtikangas, 1999). Substansbortfallet gör att man förlorar stora mängder brännbart material och den ökade temperaturen kan göra att högen självantänder.

Buntsystemet

Buntsystemet används idag i väldigt liten utsträckning i Sverige för att ta ut biobränsle ur skogen. Anledningen till att buntning inte används mer frekvent beror på att den sönderdelningsteknik som idag används inte är anpassad för att kunna ta emot buntar, samt även en viss skepsism från skogsbruket sida gör att buntning inte utnyttjas mer.

- Buntning ute på hygget med antingen en Woodpac eller en Fiberpac
- Skotning av buntar med antingen vanlig virkeskotare eller en modifierad skotare anpassad för buntar
- Kortare eller längre lagring vid vägavlägg med eller utan täckpapp
- Transport av buntar med lastbil med täckta sidor eller en modifierad virkesbil
- Transport till industri eller en terminal med möjlighet till vidaretransport med tåg

Fördelar

Den extra kostnaden som tillkommer p.g.a. buntmaskinen anses kunna försvinna p.g.a. de vinster man gör senare i systemet t.ex. vid transporten. Lagring av buntar kan ske under en längre period utan att materialet förstörs genom nedbrytning (Liss, 2003a). De största materialförlusterna sker vid buntningen d.v.s. tidigt i kedjan, detta gör att material lämnas ute på hygget för den biologiska mångfalden. I en studie gjord av Öhlund (2003) visade att man

kunde förlora ca 19% av materialet, förlusterna bestod mest av små grenar och barr. Detta tidiga bortfall av material gör att systemet i senare skede minskar materialförlusterna avsevärt. Vanliga virkesbilar kan användas för att transportera buntar.

Nackdelar

Man måste använda sig av en extra maskin för att kunna producera buntarna, detta gör att systemet belastas med en extra kostnad tidigt i systemet. Med den extra maskinen som används ute på hygget tillkommer även en ökad markpåverkan. Bindmaterialet som håller ihop buntarna kan vid lastning och lossning lätt gå sönder. Många av dagens flisskördare/huggar kan inte flisa en bunt som kommer upp i 70cm i diameter p.g.a. för liten inmatningsöppning eller för låg motoreffekt (Liss, 2003b).

1.2 Mål

Målet är att analysera och jämföra ekonomin hos 5 logistiska system för långa transporter av grot där 2 av systemen har en terminal med byte till tågtransport (jfr figur 4).

System

1. Flis med lastbil direkt till mottagare t.ex. värmeverk.
2. Grotbuntar med lastbil direkt till mottagare.
3. Lösgrot med lastbil direkt till mottagare.
4. Grotbuntar med lastbil till terminal för vidaretransport med tåg till mottagare.
5. Lösgrot med lastbil till terminal där groten flisas för att sedan transporteras med tåg till mottagare.

2 MATERIAL OCH METODER

2.1 Allmänt

Prestations- och kostnadsuppskattningar för olika maskiner i systemjämförelsen har samlats in utifrån litteratur, intervjuer och egna tidsstudier. Materialet har utgjort basen i ett program skapat i Excel för att kunna visa kostnaderna för olika moment i kedjan. I programmet kunde hänsyn ges till lagringsförluster, fukthaltsförändringar och hanteringsförluster som kan uppstå i ett system. I studien har flyttkostnader beräknats vara samma i alla alternativ.

2.1.1 Enheter

Data som blivit insamlad har enheterna m^3/s / G_0 -tim, kr/tim, min, ton, kr/km, kg, km och st. I resultatet redovisas sedan enheterna kr/ton och kr/MWh för att beskriva kostnaderna för olika system. Anledningen till att kostnaderna ej beskrivs i kr/m^3 är svårigheterna att mäta i m^3 s p.g.a. de olika kompakteringsgrader i en hög vid olika tidpunkter i kedjan. Enheten m^3 s omvandlas i modellen till ton och omvandlingen sker genom att använda omräkningstalet $1 \text{ m}^3 \text{ s} = 0,32 \text{ råton}$ (ca. 50% fh). I fallet med bibränsle är det lättare att använda ton som en måttenhet p.g.a. enkelheten i att bara kunna bygga på en våg på t.ex. skotaren varpå man kan få relativt säker data registrerad.

2.2 Fältstudien

2.2.1 Allmänt

Fältstudier har skett under en period från februari 2005 till april 2006.

- Besök på en gammal träddelsterminal i Dombäck för att få en överblick hur en terminaler såg ut på 70- och 80-talet och kan se ut idag.
- Besök hos SåtAB i Krokom utanför Östersund för att se hur en kross/flissanläggning fungerar.
- Besök hos Jämtkraft i Östersund för att se hur slutkunden hanterar råvaran.
- Lastning- och lossningtidsstudie för buntar i Hoting för att samla in data på hur lång tid det tar att lasta och lossa buntar samt hur mycket man får med sig vid transport.

Fältstudierna har används till att öka kunskapen om hur olika flöden i de olika systemen ser ut samt samla in data.

2.2.2 Lastning- och lossningsstudie på buntar

Pilotstudien genomfördes i trakterna kring Hoting, för att samla in data på hur lång tid det tar att lasta och lossa buntar vid en lastbilstransport. En självlastande Scania lastbil med täckta sidor på vagn och släp användes. Se även bilaga 3 för mer information från studien.

Tabell 1. Lastnings- och lossningstider för grotbuntar på lastbil. Vid transport 3/lastning skedde en reparation av kranen som tog ca 17 min och som ej är medräknad i total tid
Table 1. Time to load and unload bundles from a lorry

	Transport			
Moment	1	2	3	Medelvärde
<u>Lastning</u> (min, sek)				
Iordningsställande av ekipage	1.12	2.08	1.18	1,33
Kranarbete	20.15	23.06	27.02	23.28
Förflyttning av ekipage		4.59		4.59
Total tid	21.27	30.13	28.20	26.40
<u>Lossning</u> (min, sek)				
Iordningsställande av ekipage	1.14	1.16	1.00	1.10
Kranarbete	13.56	16.57	19.52	16.55
Total tid	15.10	18.13	20.52	18.05

2.3 Systemanalys

2.3.1 Kostnader och prestationer

I analysen användes, i den utsträckning det varit möjligt, priser och prestationer från säsongen 05/06.

Buntning

Kostnaden för maskinen sattes till 1150kr/tim och produktionen på 24 buntar/ G_0 -tim (Kärhä & Vartiamäki, 2004). Buntarnas storlek ligger på ca. 70 x 320 cm och väger ungefär 475 kg/st (se bilaga 3). I studien har fukthalten blivit satt till 50% och därför används en högre vikt på buntarna, 500 kg/st.

Skotning

Kostnaden och prestationen för skotning av grot sattes till 670 kr/tim resp. $26 \text{ m}^3/\text{s}/G_0$ -tim. Vid skotning av buntar har kostnaden blivit satt till 650 kr/tim och prestationen till 40 st/ G_0 -tim.

Lagring

Lagring av grot, flis och buntar skiljer sig väsentligt i hur stora substanförlusterna blir efter en längre tids lagring. Därför användes tre olika procentsatser för att beskriva substansförlusterna vid lagring. För lagrad flis används 1,6%/mån (Löwegren & Jonsson, 1987) i substansförluster medan vid grot 0,8%/mån och vid lagring av buntar 0,45%/mån. Fukthaltsförändringen som sker vid lagring kommer att tas i beaktande.

Flisning

En beståndsgående flisare används för att flisa lösgrot vid vägkant eller hyggeskant (max terrängtransport 30m). Innan flisning iordningsställs flisningspunkten d.v.s. snöpackning, rensning av sten och buskar m.m sker. För att minska risken för föroreningar läggs en viraduk (6x7m) ut på marken där flisen ska ligga. Kostnaden sattes till 1600 kr/tim (Jonsson, pers.

kom., 2006) och produktionen till $70 \text{ m}^3/\text{s}/G_0\text{-tim}$ (Jonsson, pers. kom., 2006, Liss, pers. kom., 2006).

Lastning och lossning

För lastning och lossning av buntar användes tiderna vid lastning- och lossningsstudien, se tabell 1. Vid lastning av grot används tiden 50 min (Näslund, pers. kom., 2006) och med flis används lastningstiden 44 min (Liss & Johansson, 2006). För lossning av grot och flis var tiden satt till 10 min.

Transport

Kostnader och lastvikter för transport med lastbil beror på vilket system som beskrivs t.ex. används för det mesta lastbilar med täckta sidor för att transportera grot medan vid transport av flis används lastbilar med container på vagn och släp. Vid flistransport i den här studien antogs dock en självlastande flisbil med täckta sidor inkl. tipp.

- Timmerlastbil
 - Buntar
 - Lastkapacitet ca 34 ton
 - Använd lastvikt i studien 32 ton
 - 620 kr/tim + 6kr/km (5 kr/km vid returresa)
- Lastbil med täckta sidor
 - Grot
 - Lastkapacitet ca. 29 ton
 - Använd lastvikt i studien 22 ton
 - 670 kr/tim + 6 kr/km (5 kr/km vid returresa)
- Självlastande flisbil med täckta sidor
 - Flis
 - Lastkapacitet ca. 32 ton
 - Använd lastvikt i studien 32 ton
 - 670 kr/tim + 6 kr/km (5 kr/km vid returresa)

Terminal

Vid användandet av terminal har inte anläggningskostnader räknats med. I studien förutsattes att den var byggd sedan tidigare. Terminalens storlek är av sådan att det går att lagra och flisa materialet som kommer in till terminalen. Kostnaden för en stationär flishugg har blivit satt till 1400 kr/ G_{15} -tim och har en produktion på $70 \text{ m}^3/\text{s}/G_{15}\text{-tim}$. Vid terminalen sker endera flisning av lösgrot ner i järnvägsvagnar eller omlastning av buntar från lager till timmervagnar på järnvägen. Fasta kostnader har inte förts in p.g.a. svårigheten att bedöma kostnaden för att nyanlägga en terminal samt att bedöma kostnaden för en redan befintlig terminal.

Tåg

Vid användning av tåg som transportmedel används vagnar av typen lnp med en lastvikt på 33,5 ton vid transport av buntar, kostnaden för 200 km ligger på ca. 3000 kr/vagn (Gyll, pers. kom., 2006). Vagnar av typen sgnss, med plats för 3 containrar, med en lastvikt på upp till 61 ton används för transport av flis. Kostnaden för en sgnss vagn ligger på ca. 5400 kr/vagn vid ett transportavstånd på 200 km (Gyll, pers. kom., 2006).

Industri

Vid värmeverket tillkommer en kostnad för flisning av buntar och grot. Kostnaden för maskinen beräknas vara samma för den som används vid terminalen d.v.s. 1400 kr/G₁₅-tim. Prestationen vid flisning av grot har blivit satt till 70 m³/G₁₅-tim och för buntar har flisningsprestationen blivit satt till 130 m³/G₁₅-tim (Andersson et al., 2000).

Modeller

Den modell som har använts för beräkning av de olika momenten, förutom transport med lastbil och tåg samt lastning & lossning, har formeln:

$$k_{ton} = k_{tim} / p_{tim} \quad [\text{kr/ton}]$$

där k_{tim} är timkostnaden för en maskin, p_{tim} är produktionen per timme. Modellen som använts för beräkning av kostnaden för transport har formeln:

$$k_{ton} = (k_{tim} * t + bx) / v \quad [\text{kr/ton}]$$

där k_{tim} är timkostnaden för ett ekipage, t är hur lång tid det tar att köra den angivna sträckan, b är kr/km, x är avståndet i km och v är den lastade vikten. Formeln gäller enbart för körning enkel väg. Vid tur och retur körning användes formeln:

$$k_{ton} = ((k_{tim} * t + bx) + (k_{tim} * t + b_r x)) / v \quad [\text{kr/ton}]$$

där b_r är kostnaden kr/km för att köra med tom last. För lastning och lossning användes formeln:

$$k_{ton} = (t_l * k_{tim}) / v \quad [\text{kr/ton}]$$

där t_l är hur lång tid det tar att lasta alt. lossa. För att räkna ut kostnaden för att använda tåg användes formeln:

$$k_{ton} = k_t / m_t \quad [\text{kr/ton}]$$

där k_t är kostnaden per vagn och m_t är den lastade vikten. För omräkning till kr/MWh nyttjades formeln:

$$W_{eff} = 35,9 * C * B + 101,5 * B * (H - O/8) - ((2,45 * F) / (100 - F)) \quad [\text{MJ}]$$

för att få fram det effektiva värmevärdet vid en speciell fukthalt. Värmevärdet har sedan använts i formeln:

$$k_{Mwh} = k_{ton} / (W_{eff} / 3,6) \quad [\text{kr/MWh}]$$

för att få fram kostnaden i kr/MWh. Vid framräknande av substansförluster vid lagring nyttjades formeln:

$$sb = a_m * n_{b,g,f} \quad [\text{sb}]$$

där a_m är antalet månader som lagringen pågått och där $n_{b,g,f}$ är substansförlust per månad för b = buntar, g = grot och f = flis.

I tabell 2 - 4 redovisas de värden som använts vid analysen.

Tabell 2. Variabler och åsatta värden för grotsystemen

Table 2. Variable values for the slash system

Moment	Variabel		Åsatt värde	
Grotskotning	k_{mg}	Kostnad för grotskotare per tim	670 kr/tim	
	V_{tr}	Produktion per tim för grotskotare	26 m3s/tim	
	u_{gs}	Teknisk utnyttjandegrad	0,9	
Lastning (grot) lastbil	T_{dlg}	Tid det tar att lasta	50 min	
	k_{gla}	Kostnad per tim för ekipage	670 kr/tim	
	V_{gla}	Lastvikt	22 ton	
Transport (grot)	k_{gla}	Kostnad per tim för ekipage	670 kr/tim	
	h_{bu}	Medelhastighet	70 km/tim	
	f	Slingerfaktor	1,2	
	x	Avståndet i km	x	
	T_{lbu}	Tid det tar att köra sträcka x	t	
	b_1	Kostnad per km med last	6 kr/km	
	b_2	Kostnad per km utan last	5 kr/km	
	V_{gla}	Lastvikt	22 ton	
	Lossning (grot)	T_{glag}	Tid det tar att lossa	10 min
		k_{gla}	Kostnad per tim för ekipage	670 kr/tim
V_{glag}		Avlastad vikt	22 ton	
Flisning vid term. alt. ind. (grot)	k_{ft}	Kostnad för sönderdelning per tim	1400 kr/tim	
	V_{fte}	Produktion för sönderdelning per tim	70 m3s/tim	
	u_{fte}	Teknisk utnyttjandegrad	0,95	
Tåg (flis)	$K_{tåg}$	Kostnad per vagn	5400 kr/vagn	
	m_{tf}	Lastvikt	60000 kg	

Tabell 3. Variabler och åsatta värden för flissystemet
Table 3. Variable values for the chipping system

Moment	Variabel		Åsatt värde
Grotskotning	k_{mg}	Kostnad för grotskotare per tim	670 kr/tim
	V_{tr}	Produktion per tim för grotskotare	26 m ³ /tim
	u_g	Teknisk utnyttjandegrad	0,9
Flisning vid avlägg	k_{mfl}	Kostnad för sönderdelning per tim	1600 kr/tim
	V_{fg}	Produktion för sönderdelning per tim	70 m ³ /tim
	u_{fa}	Teknisk utnyttjandegrad	0,8
Lastning (flis) lastbil	T_{dl}	Tid det tar att lasta	44 min
	k_{fla}	Kostnad per tim för ekipage	670 kr/tim
	V	Lastvikt	32 ton
Transport (flis)	k_{fla}	Kostnad per tim för ekipage	670 kr/tim
	h_b	Medelhastighet	70 km/tim
	f	Slingerfaktor	1,2
	x	Avståndet i km	x
	T_{lfl}	Tid det tar att köra sträcka x	t
	b_1	Kostnad per km med last	6 kr/km
	b_2	Kostnad per km utan last	5 kr/km
	V	Lastvikt	32 ton
Lossning (flis)	T_{gla}	Tid det tar att lossa	10 min
	k_{fla}	Kostnad per tim för ekipage	670 kr/tim
	V_{fl}	Avlastad vikt	32 ton

Tabell 4. Variabler och åsatta värden för buntsystemen
Table 4. Variable values for the bundling system

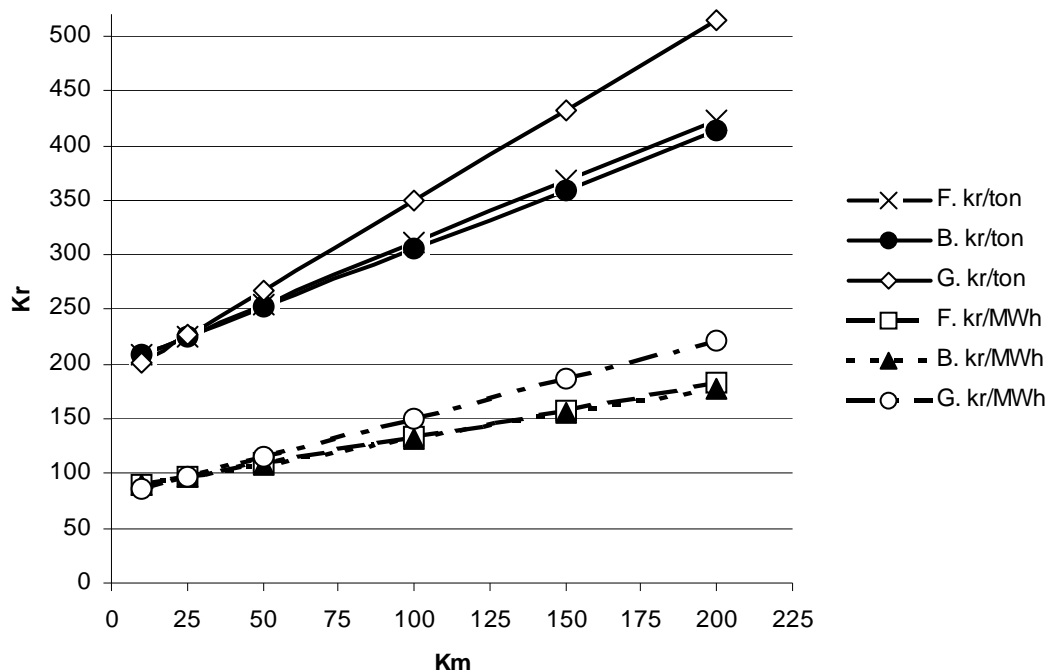
Moment	Variabel		Åsatt värde
Buntning	k_b	Kostnad för buntare per tim	1150 kr/tim
	V_{bm}	Produktion per tim för buntare	24 st/tim
	a_{stb}	Medelvikt per bunt	500 kg
	u_{bs}	Teknisk utnyttjandegrad	0,85
Buntskotning	k_{sb}	Kostnad för buntskotare per tim	650 kr/tim
	V_{sb}	Produktion per tim för buntskotare	40 st/tim
	a_{stb}	Medelvikt per bunt	500 kg
	u_{sb}	Teknisk utnyttjandegrad	0,9
Lastning (buntar) lastbil	T_{db}	Tid det tar att lasta	25 min
	k_{blas}	Kostnad per tim för ekipage	620 kr/tim
	V_{bla}	Lastvikt	32 ton
Transport (buntar)	k_{blas}	Kostnad per tim för ekipage	620 kr/tim
	h_{bu}	Medelhastighet	70 km/tim
	f	Slingerfaktor	1,2
	x	Avståndet i km	x
	T_{lbu}	Tid det tar att köra sträcka x	t
	b_1	Kostnad per km med last	6 kr/km
	b_2	Kostnad per km utan last	5 kr/km
Lossning (buntar)	V_{bla}	Lastvikt	32 ton
	T_{dlob}	Tid det tar att lossa	18 min
	k_{blas}	Kostnad per tim för ekipage	620 kr/tim
	V_{blal}	Avlastad vikt	32 ton
Tåg (buntar)	$K_{btåg}$	Kostnad per vagn	3000 kr/vagn
	m_{tv}	Lastvikt	32000 kg
Flisning vid ind. (buntar)	k_{ft}	Kostnad för sönderdelning per tim	1400 kr/tim
	V_{bte}	Produktion för sönderdelning per tim	130 m3s/tim
	u_{bte}	Teknisk utnyttjandegrad	0,95

3 RESULTAT

Figur 6a-b, 8a-b och 9a-b har en y-axel som ej startar vid origo för att få bättre överskådlighet i figurerna.

3.1 Rak jämförelse

Kostnaden för de olika systemen beskrivs genom att använda enheterna kr/ton och kr/MWh. I den första analysen är kostnaden beräknad på de värden som anges i material och metoder och fukthalten för rått material är satt till 50%.

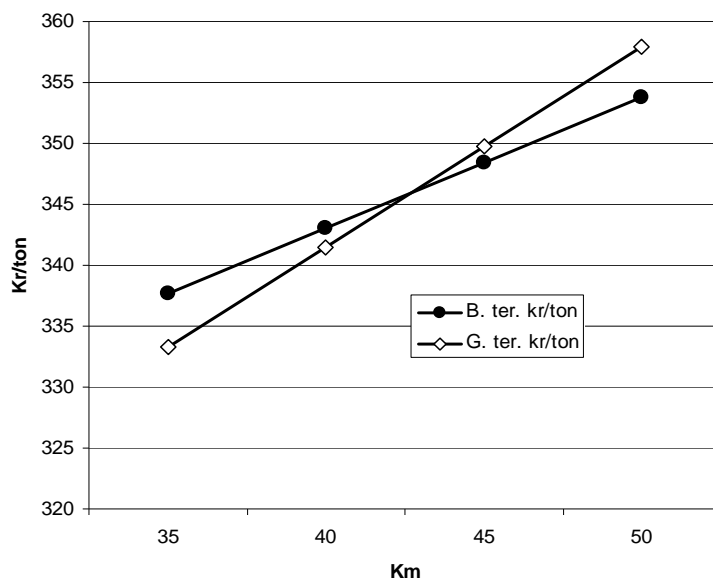


Figur 5. Systemkostnader för lastbilstransport i kr/råton och kr/MWh som funktion av transportavstånd. F = flis från avlägg till värmeverk, B = buntar till värmeverk och G = grot till värmeverk.

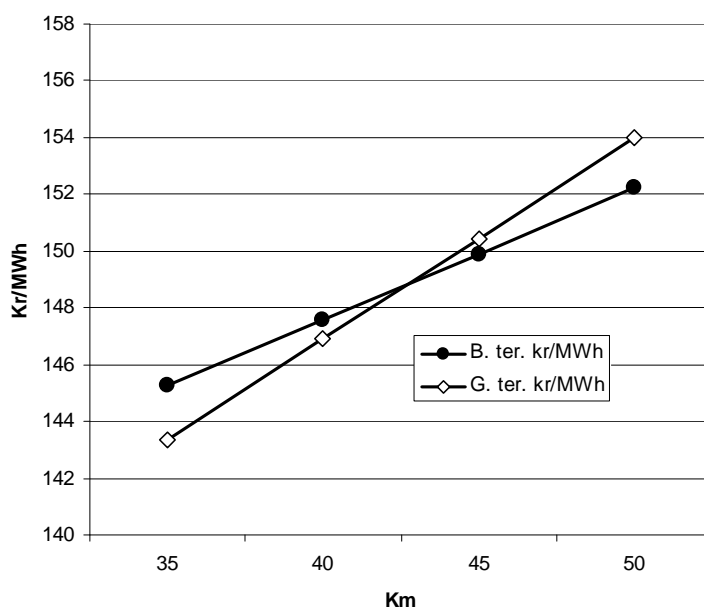
Figure 5. Costs for system 1-3 expressed in SEK/ton and SEK/MWh depending on the distance of transport. F = chips from forest to industry, B = bundles to industry and G = slash to industry.

Studien visar att hantering av obearbetat grot är det billigaste alternativet upp till ca 25 km. Kostnaden ligger på mellan ca 202 – 226 kr/ton och räknat i kr/MWh blir kostnaden mellan ca. 87 – 97 kr/MWh. Vid 25 km är kostnaden för flis, buntar och grot relativt lika medens vid 100 km är buntar (306 kr/ton & 134 kr/MWh) det billigaste alternativet och grot (350 kr/ton & 150 kr/MWh) det klart dyraste.

Vid antagandet att en terminal används blir det kortare avstånd vid transport med lastbil, från 35 – 50 km. Efter omlastning eller sönderdelning av råvaran vid terminalen fraktas det med tåg ca 200 km.



Figur 6a. Systemkostnader uttryckta som kr/råton beroende på transportavstånd med lastbil. Transport med tåg ca 200 km efter omlastning eller sönderdelning av råvaran vid terminal. B. ter. = buntar till värmeverk via terminal och G. ter. = gröt till värmeverk via terminal.
Figure 6a. Expenses expressed in SEK/ton depending on the distance of transport with truck. The system includes chipping or reloading of the cargo and train transport (200 km) from a terminal. B. ter. = bundles to industry via a terminal and G. ter. = slash to industry via a terminal.



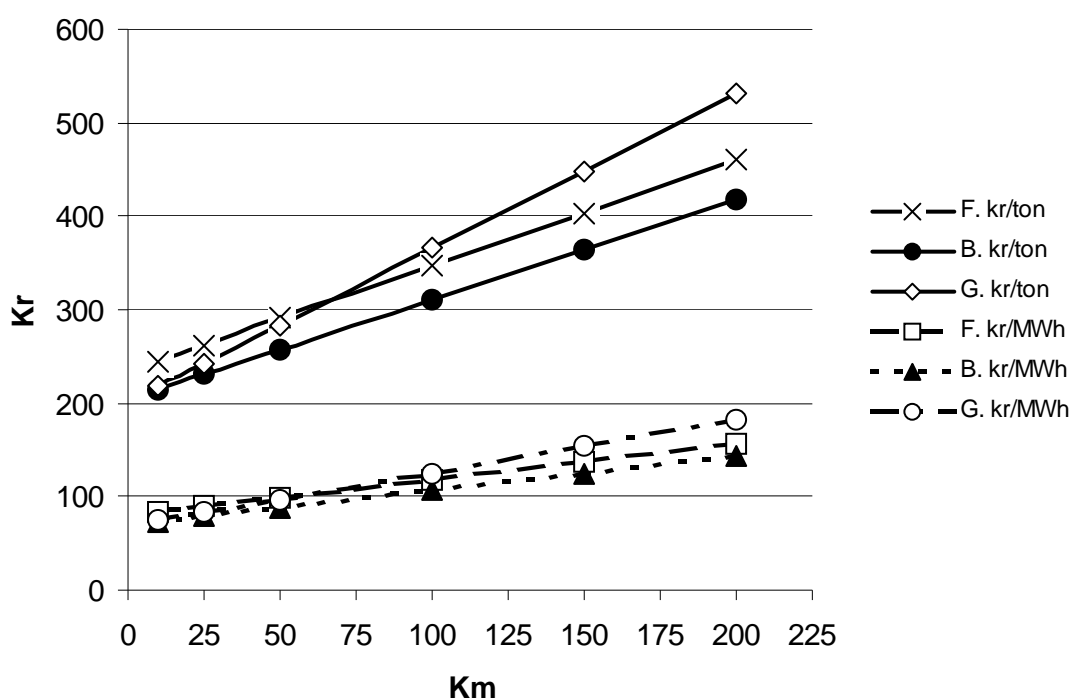
Figur 6b. Systemkostnader uttryckta som kr/MWh beroende på transportavstånd med lastbil. Transport med tåg ca 200 km efter omlastning eller sönderdelning av råvaran vid terminal, för B. ter och G. ter se figur 6a.
Figure 6b. Expenses expressed in SEK/MWh depending on the distance of transport with truck. The system includes chipping or reloading of the cargo and train transport (200 km) from a terminal, see figure 6a for B. ter. and G. ter.

Vid en jämförelse mellan grot- och buntsystemet med omlastning vid terminal till tågtransport, visar studien att hanteringen av grot är det billigaste alternativet upp till ca 43 km körning med lastbil, därefter blir buntsystemet billigare. Det totala transportavstånden varierar från 235 – 250 km varvid 200 km är transport på järnväg. Vid avstånd på t.ex. 40 km med lastbil visar studien på att grot (341 kr/ton & 147 kr/MWh) är det billigaste alternativet, buntar (343 kr/ton & 148 kr/MWh). Vid 50 km med lastbil har buntar (354 kr/ton & 152 kr/MWh) gått om grot (358 kr/ton & 156 kr/MWh) som det billigaste alternativet.

Vid jämförelse mellan systemen 1, 2 & 3 och systemen 4 & 5 indikerar beräkningarna att användandet av en terminal endast kan komma i fråga vid transporter över ca 130 km.

3.2 Lagring & fukthaltsförändring

I verkligheten kommer fukthaltsförändringar samt lagringsförluster att ske i bränslet. I den här delen av studien har substansförluster och fukthaltsförändringar vid lagring samt hanteringsförluster i kedjan blivit inkluderade. Lagringen sker under en 10 månaders period, ingen årstid specificerad, där lagringsförlusterna är uträknade med en procentsats per månad, varvid det räknas med att fukthalten sjunker från 50% till 40%.



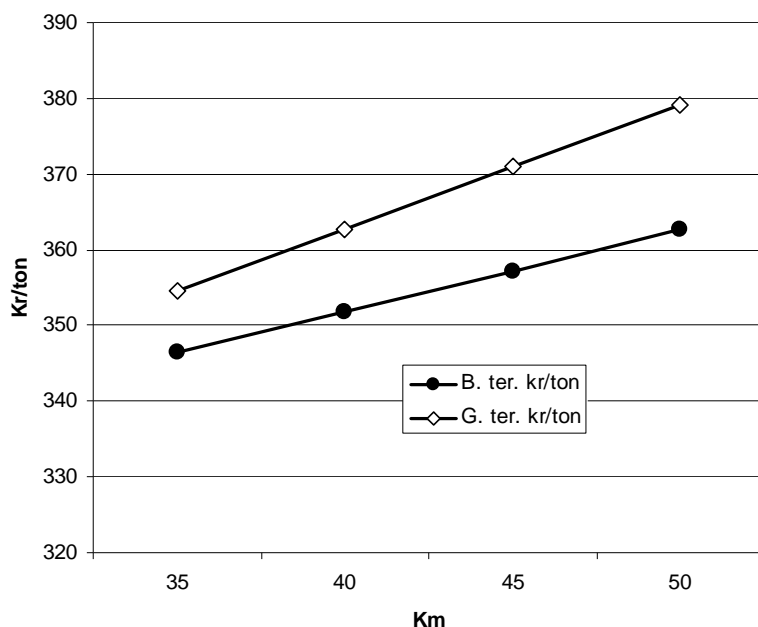
Figur 7. Systemkostnader för alternativ 1-3 med lastbilstransport i kr/ton och kr/MWh beroende på transportavstånd. Hanterings- och substansförluster vid lagring i 10 mån är medräknad, för F, B och G se figur 5.

Figure 7. Expenses expressed in SEK/ton and SEK/MWh depending on the distance of transport. Loss in substance due to handling or storage in 10 months is accounted for, see figure 5 for F, B and G.

När hänsyn tas till fukthaltsförändring och lagerförluster försämrar grot- och flissystemet avsevärt gentemot buntsystemet. Enligt studien är då hanteringen av buntar det billigaste alternativet av de tre system som beskrivs. Vid 25 km är förhållandena mellan systemen sådana

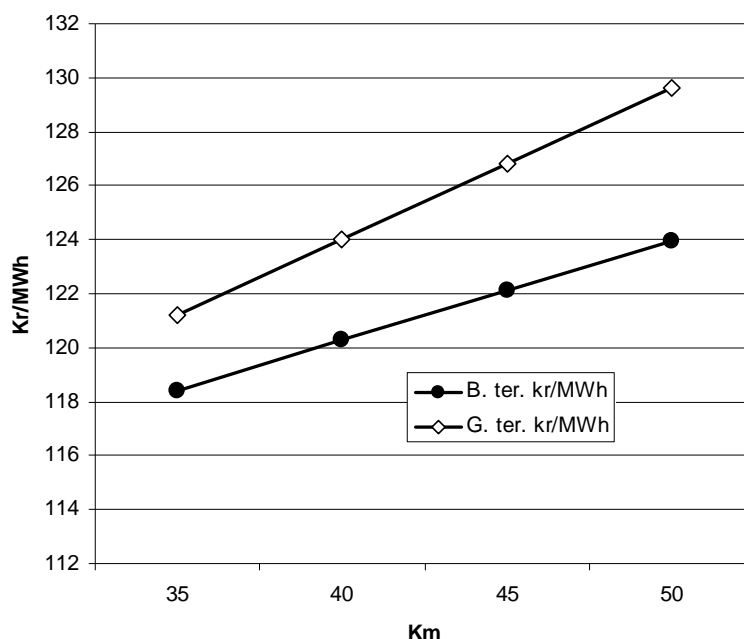
att buntar (230 kr/ton & 79 kr/MWh) är billigast, grot och sist flis (262 kr/ton & 90 kr/MWh) som är dyrast. Vid 100 km är buntarna (311 kr/ton & 106 kr/MWh) fortfarande billigast medens grot (366 kr/ton & 125 kr/MWh) nu är det dyraste alternativet.

Vid antagandet att en terminal tas med i beräkningen används kortare avstånd vid transport med lastbil, från 35 – 50 km. Efter omlastning eller sönderdelning av råvaran vid terminalen fraktas det med tåg ca 200 km.



Figur 8a. Systemkostnader uttryckta i kr/råton beroende på transportavstånd med lastbil. Transport med tåg ca 200 km efter omlastning eller sönderdelning av råvaran vid terminal. Hanterings- och substansförluster vid lagring i 10 mån är medräknad, för B. ter och G. ter se figur 6a.

Figure 8a. Expenses expressed in SEK/ton depending on the distance of transport with truck. The result includes chipping or reloading of the cargo and train transport (200 km) from a terminal. Loss in substance due to handling or storage in 10 months is accounted for, see figure 6a for B. ter. and G. ter.



Figur 8b. Systemkostnader uttryckta i kr/MWh beroende på transportavstånd med lastbil. Transport med tåg ca 200 km efter omlastning eller sönderdelning av råvaran vid terminal. Hanterings- och substansförluster vid lagring i 10 mån är medräknad, för B. ter och G. ter se figur 6a..

Figure 8b. Expenses expressed in SEK/MWh depending on the distance of transport with truck. The result includes chipping or reloading of the cargo and train transport (200 km) from a terminal. Loss in substance due to handling or storage in 10 months is accounted for, see figure 6a for B. ter. and G. ter.

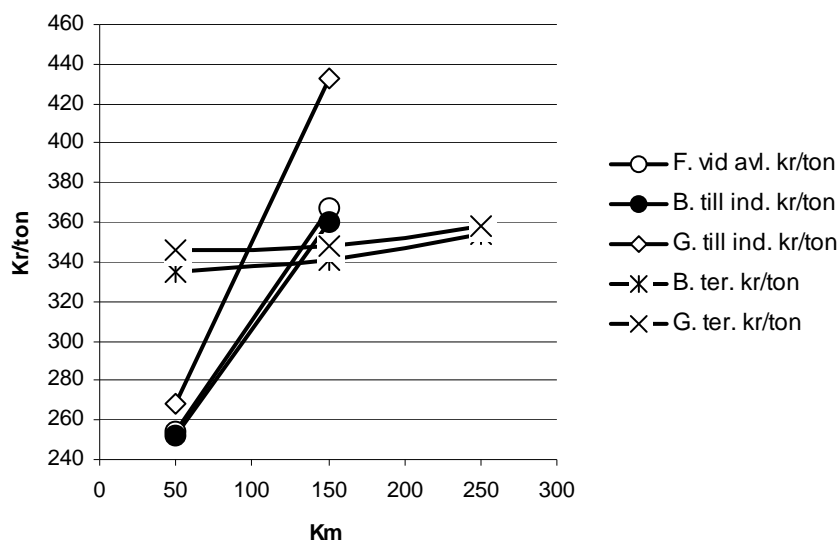
Vid en jämförelse mellan grot- och buntsystemet, då hänsyn har blivit tagen till fukthaltsförändring och lagerförluster med omlastning vid terminal visar studien på att hanteringen av buntar är det billigaste alternativet. Det totala transportavståndet varierar från 235 – 250 km varvid 200 km är transport på järnväg. Vid avstånd på t.ex. 40 km med lastbil visar studien på att buntar (352 kr/ton & 120 kr/MWh) är det billigaste alternativet, flis (363 kr/ton & 124 kr/MWh).

Om en jämförelse även görs mellan systemen 1, 2 & 3 och systemen 4 & 5 kan man se att användandet av en terminal endast kan komma i fråga vid transporter över ca. 130 km.

3.3 Jämförelse lastbil – tågtransport

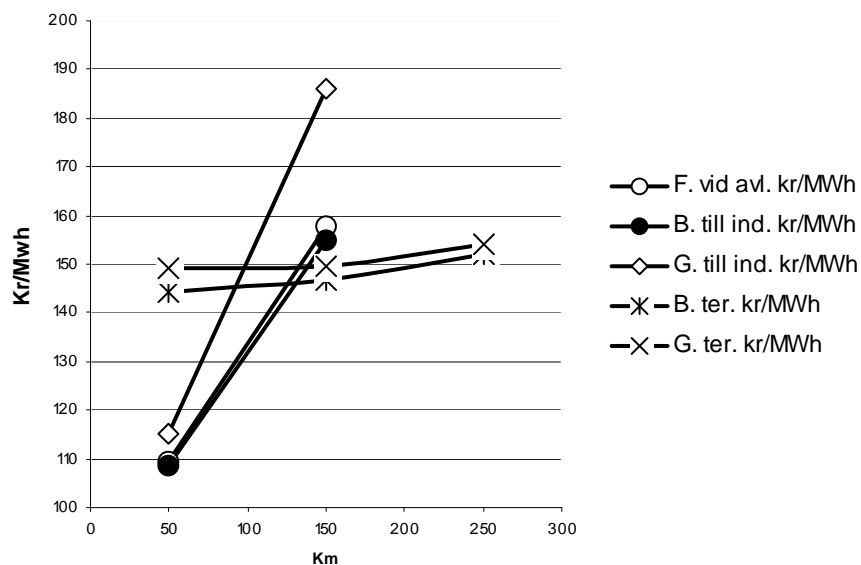
I de tidigare jämförelserna av bunt- och grotsystemet omlastning vid terminal, varierades endast avståndet för körning med lastbil medan tågtransportavståndet hölls konstant på 200 km. I den här jämförelsen varieras därför tågtransportavståndet mellan 0 – 200 km medan avståndet med lastbil hölls konstant på 50 km, den sammanlagda sträckan varierar därför mellan 50 – 250 km. Sträckan 50 km, för terminalalternativen, räknas som en omlastningspunkt d.v.s. 50 km transport med lastbil medan sträckan för tågtransport har varierats inklusive en kostnad, gäller dock ej för flis, för lastning av buntar på tåg. I jämförelsen läggs även systemkostnaderna för grot-, flis- och buntsystemen vid avstånden 50

– 150 km in. Den här jämförelsen inkluderar ej någon lagring d.v.s. substansförluster och fukthaltsförändring vid lagring är ej medräknad.



Figur 9a. Systemkostnader för de fem alternativen uttryckta i kr/råton beroende på transportavståndet för lastbil och tåg. Terminalalternativen har ett konstant lastbilstransportavstånd på 50 km och ett varierande tågtransportavstånd.

Figure 9a. Expenses expressed in SEK/ton depending on the distance of transport by train or by lorry. The terminal alternative has a constant distance of transport by lorry set to 50 km and the distance of train transport is varied.



Figur 9b. Systemkostnader för de 5 alternativen uttryckta i kr/MWh beroende på transportavståndet. Terminalalternativen har ett konstant lastbilstransportavstånd på 50 km och ett varierande tågtransportavstånd.

Figure 9b. Expenses expressed in SEK/MWh depending on the distance of transport. The terminal alternatives has a constant distance of transport by lorry set to 50 km and the distance of train transport is varied.

Analysen visar att terminal och tåg i bunt- och grotsystemet blir ekonomiskt ett bättre alternativ vid transportavstånd längre än ca. 130 km. Kostnaden för buntsystemet med en terminal blir ca. 335 – 354 kr/ton samt 144 – 160 kr/MWh medan kostnaden för flissystemet med terminal blir ca. 346 – 358 kr/ton samt 149 – 154 kr/MWh.

3.4 Känslighetsanalyser

För att granska vilka faktorer som har stor effekt på systemkostnader, varierades prestationen på ett antal variabler (tabell 5). Analysen visar att momenten grotskotning ($\text{m}^3/\text{s}/\text{G}_0\text{-tim}$), flisning vid avlägg alt. terminal ($\text{m}^3/\text{s}/\text{G}_0\text{-tim}$) och tågtransport av buntar (kr/vagn) är några moment som vid ändrade förutsättningar varierade mycket i kr/ton och kr/MWh. Vid en minskning av t.ex. grotskotningen med $5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{G}_0\text{-timme}$ ökade kostnaderna med ca 24% medan en ökning av prestationen med $5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{G}_0\text{-timme}$ gav en minskning av kostnaderna med ca. 16%.

4 DISKUSSION

4.1 Allmänt

Den maskinkostnadsmodell som blivit redovisade i studien är uppbyggd enligt principen att man ska kunna använda både prestationer i m^3/tim och i ton/tim som ett ingående värde. Om man vill få ut resultatet i kr/ton och man enbart har prestationer beskrivna i m^3/tim används en omräkningsfaktor från m^3 till råton. Modellen för lastning och lossning används för att kunna belysa hur stor andel av den totala kostnaden som momenten utgör. Transportmodellen finns i två varianter, en där enbart enkel väg beskrivs och en där returtransport är medräknad. Alla modeller som använts i studien ska kunna beskriva kostnaderna i $\text{kr}/\text{råton}$ och kr/MWh .

Kostnader i analysen har samlats in från litteratur, entreprenörer och genom diskussioner med personer vid avdelningen för Teknologi vid SLU. Stora variationer i prisnivå för olika maskiner gör det svårt att få en exakt siffra på vad en maskin kan kosta. Därför har moment, med stora variationer i kostnad per timme, fått en kostnad som beskriver ett sannolikt medelvärde.

Effektiviteten i ett biobränslesystem är väldigt beroende av både miljön och infrastrukturen den verkar i. Ekonomiska-, sociala- och industriella faktorer såväl som utbildningsnivå och lokala traditioner har även de en inverkan. Konsekvensen av detta är att inget givet system fungerar optimalt i alla länder eller i olika områden inom ett land (Hakkila, 2003). I södra Sverige kan t.ex. ett system användas som i de norra delarna inte skulle fungera p.g.a. att faktorerna skiftar väldigt mycket. Prestationer, därmed även kostnader, kan skilja sig markant mellan södra och norra Sverige och detta gör det svårt när man samlar in data för en analys av ett eller flera system. I den här analysen av bunt-, flis- och grotsystem har dock den huvudsakliga inriktningen varit en studie av norrländska förhållanden.

Tabell 5. Beräknade kostnader per moment för bunt-, flis- och grotsystem vid ändrade förutsättningar jämfört med figur 2-4

Table 5. Calculated cost for each part in a bundling-, chipping- and slash system with changed performance compared to figure 2-4

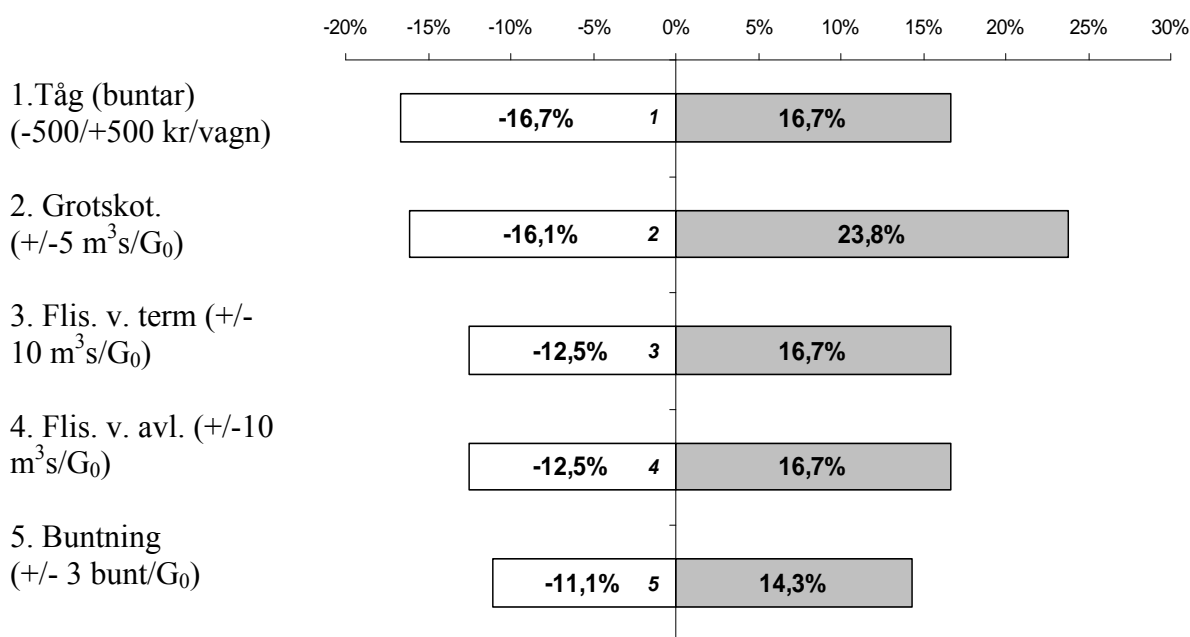
Moment	Kostnad kr/råton / kr/MWh		
	Minskar	Normal	Ökar
Buntning (buntar/G ₀ -tim) +3, -3	11,1%	112,75 / 48,50	14,3%
Buntning (vikt/bunt, kg) +50, -50	9,1%	112,75 / 48,50	11,1%
Flisning vid avl. (m ³ s/G ₀ -tim) +10, -10	12,5%	89,29 / 38,41	16,7%
Bunskotning (st/G ₀ -tim) +5, -5	11,1%	36,11 / 15,54	14,2%
Bunskotning (vikt/bunt, kg) +50, -50	9,1%	36,11 / 15,54	11,1%
Grotskotning (m ³ s/G ₀ -tim) +5, -5	16,1%	89,48 / 38,49	23,8%
Flisn. vid ter. (m ³ s/G ₀ -tim) +10, -10	12,5%	65,79 / 28,30	16,7%
Transp. (buntar)(100km) +2, -2 ton	5,9%	55,71 / 23,97	5,9%
Transp. (grot)(100km) +2, -2 ton	8,3%	84,94 / 36,54	10,0%
Tåg (buntar)(200km) +1000, -1000 kg	3,0%	93,75 / 40,33	3,2%
Tåg (flis)(200km) +1000, -1000 kg	1,7%	90,00 / 38,72	1,7%
Grotskotning (kr/tim) -50, +50	7,5%	89,48 / 38,49	7,5%
Buntning (kr/tim) -100, +100	8,7%	112,75 / 48,50	8,7%
Bunskotning (kr/tim) -50, +50	7,7%	36,11 / 15,54	7,7%
Flisning vid avl. (kr/tim) -50, +50	3,1%	89,29 / 38,41	3,1%
Lastning (grot)(kr/tim) -50, +50	7,4%	25,38 / 10,92	7,4%
Lastning (grot)(min) -5, +10	10%	25,38 / 10,92	20%
Transp. (buntar)(100km) -1, +1 kr/km	6,7%	55,71 / 23,97	6,7%
Transp. (buntar)(100km) -50, +50 kr/tim	4,8%	55,71 / 23,97	4,8%
Transp. (grot)(100km) -1, +1 kr/km	6,4%	84,94 / 36,54	6,4%
Transp. (grot)(100km) -50, +50 kr/tim	4,6%	84,94 / 36,54	4,6%
Flisn. vid ter. (kr/tim) -100, +100	7,1%	65,79 / 28,30	7,1%
Tåg (buntar)(200km) -500, +500 kr/vagn	16,7%	93,75 / 40,33	16,7%
Tåg (flis)(200km) -500, +500 kr/vagn	9,2%	90,00 / 38,72	9,2%

I en biobränslekedja försvinner det ofta material i olika moment t.ex. vid skotning, lastning m.f. I denna studie har därför en av variablerna gjorts med det antagandet att det just sker substansförluster i kedjan från hygget till industri. Substansförluster sker även vid lagring vilket är beroende av läget, vädret och om det är obearbetat grot, buntar eller flisat. Vid lagring av t.ex. flis försvinner stora mängder material p.g.a. mikrobakteriell verksamhet som

uppstår vid gynnsamma förhållanden. Om man däremot lagrar i form av t.ex. buntar ökar man luftgenomströmningen vilket ger en bättre torkning och minskar lagringsförlusterna.

Det är vid sönderdelning vid värmeverk som buntarnas vinst kan räknas in p.g.a. att man effektiviserar sönderdelningen genom att använda ett kompaktare material. Vid sönderdelning av buntar bör en maskin användas som klarar av buntarnas diameter och som kan matas med buntar i ett jämt flöde utan att maskinen tappar kraft. I systemanalysen var kostnaden för sönderdelning av buntar vid värmeverk inkluderad och beräknas vara ungefär 35 kr/ton. Vinsten för att sönderdela buntar vid värmeverket låg på ca. 30 kr/ton gentemot vad det kostar att sönderdela grot vid industrin.

Olika moment har mer eller mindre betydelse i ett skogsbränslesystem, av den anledningen finns en känslighetsanalys inlagd i arbetet för att belysa vilka delar som är mer viktiga än andra att lägga ner mer arbete på att förändra. Ett moment som inte ger stora förändringar vid ändrade förutsättningar är t.ex. lastning. Vid ändrad timkostnad eller lastningstid visar inte lastningsmomentet på någon större förändring i totalkostnaden. Eftersom lastningen har en låg momentkostnad medför detta att lastningen ej bör prioriteras högt vid en effektiviseringsarbetet av ett biobränslesystem. Buntning är ett moment som vid förändrad prestation visar på stora variationer i kostnad i kr/ton och kr/MWh. Prestationshöjande åtgärder gör att man kan sänka kostnaderna avsevärt och det samma gäller omvänt d.v.s. vid försämrad prestation ökar kr/ton och kr/MWh. Det innebär att framtida utvecklingsarbete bör koncentreras till grotskotning, flisning vid avlägg alt. terminal och tågtransport av buntar.

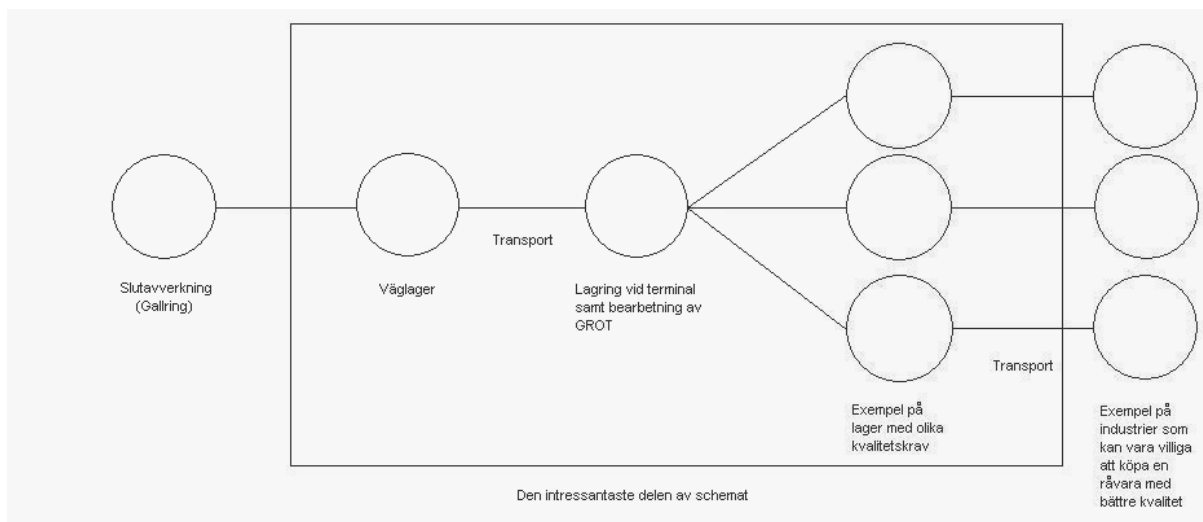


Figur 10. Procentuell ökning eller minskning i pris beroende på prestations- eller kostnadsförändring i olika moment där förändringen haft störst effekt.

Figure 10. Higher or lower cost in percent due to changes in performance or cost for different parts in a system.

4.2 Terminal

Fasta kostnader vid användandet av en terminal är inte medräknad i denna studie t.ex. underhålls-, administrations-, avskrivningskostnader m.m. En fast terminalkostnad kan öka den totalkostnaden med ca 5 – 10 kr/ton och räknat i MWh blir kostnaden ca 2 – 4 kr/MWh beroende på fukthalten. Vid lastning av buntar på tåg bör en annan maskin användas än den normala virkeslastmaskinen p.g.a. att när man försöker ta flera buntar i ett grepp går buntarna oftast sönder (Jonsson, 2006 pers. med.).



Figur 11. Nyttjande av en terminal med sönderdelning och sortering av olika produkter.
Figure 11. Usage of a terminal with comminution and quality sorting.

Är användandet av en terminal ett vettigt alternativ för att få fram biobränsle? Är transportavstånden långa kan en terminal vara det enda alternativet för att hålla nere kostnaderna. Vid avstånd mellan 20 – 100 km kan det däremot vara diskutabelt om en terminal kan användas för att minska kostnaderna. Allt det här hänger dock på vad man har tänkt sig att terminalen ska användas till, ska den bara användas som en lagring och omlastningspunkt eller ska den användas för att sönderdela materialet. Om terminalen bara används som en omlastningspunkt så krävs det att terminalen har tillgång till järnväg. Vid flisning kan t.ex. en sortering av materialet efter olika kvalitetskrav som industrin kan ställa vara aktuellt. Om stubbar blir något som man kommer att ta ut från våra svenska skogar kan sönderdelning vid en terminal vara ett bra alternativ för att öka kompakteringen och kanske även sortera bort oönskat material tidigt i kedjan.

4.3 Framtiden

Med ökande råvarubehov kommer behovet av att kunna ta ut grot från områden som ligger långt från industrin. Detta leder till större kostnader p.g.a. längre transportsträckor och därför kommer det finnas ett behov att se över kostnaderna i transportledet. Ökad användning av systemanalyser kommer att behövas för att kunna se över kostnaderna i ett system och kunna minska dem.

4.4 Slutsatser

- Vid avstånd över ca 130 km är en terminal och tåg det billigaste alternativet för att få fram råvara till industrin.
- Fukthaltsförändringar och substansförluster har stor inverkan på den totala kostnaden i ett bränslesystem och är hittills förbisett.
- Grotsystemet är billigast upp till ca 25 km vid normala förhållanden, därefter blir buntar det billigaste alternativet.
- Vid en jämförelse utan substansförluster och fukthaltsförändring inblandad skiljer sig kostnaden för bunt- och flissystemet ytterst lite.
- Kostnaden för transport via järnväg ökar ytterst lite vid längre avstånd, men kostnaden är initialt hög. Vid transport med lastbil är den initiala kostnaden liten och en snabb ökning av kostnaden sker sedan beroende på avståndet.
- Vid utvecklingsarbete för effektivitetshöjande åtgärder bör grotskotning, flisning vid avlägg alt. terminal och tågtransport av buntar vara prioriterade.

Referenser

Anon. 2004. Energimyndigheten. <http://www.stem.se/> Uppdaterad 2005-09-20

Andersson, G., 2000. Technology of fuel chip production in Sweden. I VTT symposium 208: Nordic treasure hunt: extracting energy from forest residues, s. 133-125.

URL <http://www.inf.vtt.fi/pdf/symposiums/2001/S208.pdf>

Andersson, G., Nordén, B., Jirjis, R. & Åstrand, C., 2000. Buntning kan sänka kostnaderna för skogsbränsle. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 8-2000.

Brunberg, B., 1991. Tillvaratagande av skogsbränsle. Skogsarbeten, Kista, Redogörelse nr 5.

Dehlén, R., & Mattsson, J-E., 1980. Vad är skogsenergi värd? – Beräkningsmetodik och omföringstal. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik, information från Projekt Skogsenergi, nr 10.

Eliasson, C. & Svensson, C., 1983. Dombäck-terminalen – Produktionsteknik, arbetsmiljö och arbetsorganisation. Skogshögskolan, Inst. för skogsteknik, Garpenberg, Stencil nr 232.

Hakkila, P., 2003. Developing technology for largescale production of forest chips 1999 - 2003. Helsinki, Technology programme report 5.

Hillring, B., 1995. Utvärdering av skogsbränslesystem med träddeklar. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet, SLU/Institutionen för skogsteknik, Garpenberg. Uppsatser och Resultat nr 275.

Kastberg, S., 2006. Fakta om bioenergi. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Röbäcksdalen. URL <http://www.novator.se/bioenergy/facts/fakta-1.html> använd 2006-09-05

Kärhä, K. & Vartiamäki, T., 2004. Productivity and cost of slash bundling. Finland: Metsäteho Oy, NSR Conference on forest operations 2004. URL http://www.joensuu.fi/metsatdk/metsatek/conference/nsr_pdf/Karha.pdf

Lehtikangas, P., 1999. Lagringshandbok för trädbränslen. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för virkeslära, Uppsala. ISBN 91-576-5564-2.

Liss, J-E., 2003a. GROT-buntar – kartläggning av problem vid tillverkning, transport och sönderdelning. Högskolan Dalarna, Inst. för matematik, naturvetenskap och teknik, Garpenberg. Arbetsdokument nr 2.

Liss, J-E., 2003b. Kostnadsjämförelse mellan buntssystem och traditionella flissystem vid uttag av skogsbränsle. Högskolan Dalarna, Inst. för matematik, naturvetenskap och teknik, Garpenberg. Arbetsdokument nr 4.

Liss, J-E. & Johansson, J., 2006. Utvärdering av nytt ekipage för vidaretransport av bränsleflis. Högskolan Dalarna, Inst. för matematik, naturvetenskap och teknik, Garpenberg. Arbetsdokument nr 3.

Löfgren, A., 2004. En jämförelse av tre system för uttag av grot efter slutavverkning. Sveriges lantbruksuniversitet, Avd. för skogsteknologi, Umeå. Studentuppsatser i skogsteknologi nr 74.

Löwegren, G. & Jonsson L., 1987. Lagring av flisade hyggesrester och flisad ekstamved i stora stackar. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för virkeslära, Uppsala. Rapport nr 191.

Nilsson, P-O. & Lönner, G., 1999. Energi från skogen. SLU, Uppsala, Kontakt 9.

Öhlund, A., 2003. Produktivitetsstudie av buntning av GROT och klenstammar med WoodPac. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Avd. för skogsteknologi, Umeå. Studentuppsatser i skogsteknologi nr 60.

Personliga kontakter:

Tomas Jonsson, maskinförare. Januari 2006

Magnus Näslund, Energidalen. September 2006

Jan-Erik Liss, Högskolan Dalarna. September 2006

Patrik Jonsson, Norra skogsägarna. September 2006

Bertill Gyll, GreenCargo. September 2006

Pär Winberg, GreenCargo. September 2006

Bilaga 1

1 m³f oförädlad bränsle = 2,5 m³s, kubikmeter skäpp volym eller stälpt volym (Brunberg, 1991)

1 ton oförädlad skogsbränsle = 1,5 m³f (400 kg TS, torrsustans/m³ och 40% fukthalt) (Hillring, 1995)

1 ton oförädlad skogsbränsle = 2,93 MWh (fukthalt 40%, 600 kg TS)

1 ton oförädlad skogsbränsle = 2,33 MWh (fukthalt 50%, 500 kg TS)

1 m³f oförädlad skogsbränsle \approx 4,88 kWh/kg TS vid 40% fukthalt (Dehlén & Mattsson, 1980):
Antag 400 kg TS/m³f \approx 1950 kWh. (1 m³s \approx 780 kWh)

1 m³f oförädlad skogsbränsle = 4,65 kWh/kg TS vid 50% fukthalt (Dehlén & Mattsson, 1980):
Antag 400 kg TS/m³f = 1860 kWh. (1 m³s \approx 744 kWh)

1 m³s = 0,31 råton vid 40% fukthalt (Kastberg, 2006)

1 m³s = 0,32 råton vid 50% fukthalt

1 Wh (Wattimme) = 3600 J

1 kg TS = 5,35 kWh

k (kilo) = 10³, tusen

M (Mega) = 10⁶, miljon

G (Giga) = 10⁹, miljard

Bilaga 2

Resultat från storleksmätning av 18 buntar i Hoting.

Nr	längd (cm)	diameter (cm)
1	315	78
2	305	66
3	347	69
4	308	63
5	315	76
6	311	75
7	318	68
8	326	76
9	315	72
10	312	68
11	303	74
12	310	72
13	304	74
14	325	79
15	304	67
16	337	68
17	324	77
18	312	79
Medel	316	72

Resultat från viktmätning i Hoting.

Nr	lastvikt (kg)	antal buntar (st)	vikt/bunt
1	28820	61	472,5
2	28866	60	481,1
3	29856	63	473,9
Medel	29181	61.3	475.8